Die gleichzeitigen Drachenaufstiege

in

Berlin und Hald (Jütland)

vom Sommer 1902 bis zum Frühjahr 1903.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

genehmigt

von der philosophischen Fakultät

der

Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin.

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

Von

Kurt Wegener

aus Berlin.

Tag der Promotion: 6. Mai 1905.

Referenten:

Professor Dr. v. Bezold.
Professor Dr. Warburg.

Straßburg
Verlag von Karl J. Trübner
1905.

Abdruck aus: „Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre", herausgeg. von R. Aßmann und H. Hergesell. I. Band.

Die gleichzeitigen Drachenaufstiege in Berlin und Hald (Jütland) vom Sommer 1902 bis zum Frühjahr 1903.

Von

KURT WEGENER.

Vom 10. Juli 1902 bis 13. Mai 1903 wurden von einer franko-skandinavischen Expedition unter Leitung Herrn Teisserenc de Borts in Hald bei Viborg auf Jütland, 530 km nordwestlich von Berlin, eine zusammenhängende Reihe von Drachen- und Ballon-sonde-Aufstiegen ausgeführt, deren Resultate in der Publikation „Travaux de la station Franco-Scandinave de Sondages-Aériens à Hald 1902—03“[1]) vor kurzem der Öffentlichkeit übergeben sind.

Zu derselben Zeit, in der die Expedition ihre Tätigkeit begann, fing man auch am Aeronautischen Observatorium des Königlich Preußischen Meteorologischen Instituts zu Berlin an, regelmäßig Aufstiege zu machen; ein Teil der hierbei im Lauf des folgenden Jahres gesammelten Beobachtungen ist in den Veröffentlichungen des Königl. Preuß. Met. Instituts unter dem Titel „Ergebnisse der Arbeiten am Aer. Observ. 1. Okt. 1901 bis 31. Dez. 1902 von R. Aßmann u. A. Berson“, publiziert worden, — der Rest befindet sich zur Zeit im Druck — während das vollständige Material bereits provisorisch in den Wetterkarten der Deutschen Seewarte mitgeteilt wurde.

Es liegen also für die Zeit vom 10. Juli 1902 bis 13. Mai 1903 simultane Beobachtungen der Luftschichten über Hald und Berlin vor, welche einer vergleichenden Bearbeitung zugänglich sind.

Nachdem Herr Aßmann[2]) die Resultate der vom Mai 1903 bis Mai 1904 gleichzeitig in Berlin und Hamburg ausgeführten Drachenaufstiege einer Vergleichung unterzogen hat, ist es der Zweck der vorliegenden Abhandlung, in ähnlicher Weise die Ergebnisse der Drachen- und Ballonaufstiege über Jütland und über Berlin nebeneinander zu stellen.

Mußte bereits Herr Aßmann in seinen Ausführungen darauf hinweisen, daß das Ergebnis der Vergleichung bei dem oft lückenhaften Beobachtungsmaterial nur eines Jahres notwendig in manchen Punkten sehr unsicher ausfallen würde, so gilt dies leider in noch weit höherem Maße für die vorliegende Arbeit. Vor allem ist zu beachten, daß sich die hier behandelten simultanen Beobachtungen nicht über ein volles Jahr, sondern nur über die Zeit vom 10. Juli 1902 bis zum 13. Mai 1903 erstrecken, so daß rund zwei Monate ausfallen; sodann weisen aber auch die Beobachtungen innerhalb des genannten Zeitraums noch vielfache Mängel auf. In Berlin wurden erst seit August 1902 möglichst an allen Wochentagen, und

---

[1]) Viborg—Danmark. F. V. Backhausens Bogtrykkeri 1904.

[2]) Ein Jahr simultaner Drachenaufstiege in Berlin und Hamburg. Diese Zeitschrift, Juliheft 1904.

seit dem 1. Januar 1903 lückenlos tägliche Aufstiege unternommen, während der Juli 1902 sehr unvollständig blieb. In Hald wieder war man zwar bestrebt, die Beobachtungen von Anfang an ohne jede Unterbrechung durchzuführen, doch erwies sich dieser Plan einerseits sehr bald als unausführbar, und andrerseits verfolgte man dabei eine abweichende Methode, wodurch wiederum eine neue Schwierigkeit für die Vergleichung erwächst: man ließ nämlich die Drachen möglichst lange, — der längste Aufstieg dauerte $26^1/_2$ Stunden — in der Luft stehen, während in Berlin an jedem Vormittage durch einen vollständigen Aufstieg von relativ kurzer Dauer das Gesamtprofil der Luftmasse bis zur jeweilig erreichten Höhe festgestellt wurde.

Daher liegen in Berlin sämtliche Aufzeichnungen einer mittleren Zeit von 10^h vormittags sehr nahe, während die Registrierungen der franko-skandinavischen Station über den ganzen Tag verteilt sind und darum die verschiedenen Phasen der täglichen Periode enthalten, dabei aber doch nicht ausreichen, um letztere feststellen und eliminieren zu können. Hierzu kommt noch, daß oft die Registrierinstrumente nach längerem Verweilen in den Wolken unzuverlässig wurden.

Unter diesen eine Vergleichung so erschwerenden Umständen konnte die Untersuchung naturgemäß nicht ganz frei von Willkür bleiben. Die sonst ähnliche Vergleichung der Hamburger und Berliner Drachenaufstiege umfaßt erheblich gleichartigeres Material.

Eine Diskussion der Beobachtungen in bezug auf verschiedene Wetterlagen konnte kaum am Platze scheinen, da von der Internationalen Aeronautischen Kommission sehr viel reichhaltigeres Material in Gestalt der simultanen Terminbeobachtungen für diesen Zweck gesammelt wird. Auch schien ein solcher Versuch einstweilen verfrüht, solange die klimatischen, von der Wetterlage unabhängigen Unterschiede der Luftschichten über diesen Orten nicht bekannt waren.

Daher wurde die Aufmerksamkeit vor allem darauf gerichtet, die genannten klimatischen Abweichungen der beiden Drachenstationen während der Beobachtungszeit festzustellen, wobei von einer definitiven Ermittelung klimatischer Konstanten allerdings abgesehen werden mußte, da diese nur durch mehrjährige Beobachtungen gewonnen werden können. Demgemäß wurde zur Hauptaufgabe die Vergleichung des Ganges, welchen die meteorologischen Elemente in der Höhe über beiden Stationen aufweisen, wozu als besonderes Kapitel noch die Frage der Inversionen kam; zunächst aber soll zur Sicherung der späteren Untersuchung der Verlauf der Aufstiege an beiden Beobachtungsorten verfolgt werden.

Verlauf der Aufstiege.

Aus der nachstehenden Tabelle ist ersichtlich, an wieviel Tagen der in Frage kommenden Monate an beiden Stationen überhaupt Aufstiege ausgeführt wurden. Man sieht, daß namentlich für Juli und Mai das Material ganz unzulänglich ist, daß aber in Hald auch der Januar einen bemerkenswerten Ausfall aufweist.

Zahl der Aufstiegstage.

	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai
Berlin	3	20	24	27	24	26	31	28	31	30	13
Hald	8	18	18	28	29	21	13	19	27	21	9

In dem Zeitraum von 308 Tagen wurden also in Berlin an insgesamt 257, in Hald an 211 Tagen Aufstiege ausgeführt, d. h. Berlin hatte 51, Hald 97 Fehltage, an welchen ein Aufstieg nicht gelang. Nun sind allerdings nicht nur in Berlin, sondern namentlich auch in

Hald an vielen Tagen 2 oder noch mehr Aufstiege zur Ausführung gelangt, so daß die Gesamtzahl der Aufstiege an beiden Stationen erheblich höher ausfällt. Die nächste Tabelle, welche angibt, wieviel Aufstiege überhaupt auf jeden Monat entfallen, zeigt dies in ausgesprochenem Maße.

Zahl der Aufstiege.

	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai
Berlin	4	26	41	51	38	32	37	43	45	42	22
Hald	8	21	22	37	46	28	13	26	47	53	10

Insgesamt wurden also in Berlin 381, in Hald 311 Aufstiege in dem angegebenen Zeitraume ausgeführt.

An beiden Stationen wurden die Beobachtungen an windstillen Tagen mit dem Drachenballon erhalten, auch wurden, mitunter mehrmals im Monat, Ballons-sondes aufgelassen und in Berlin auch Freifahrten unternommen, welche für die vorliegende Untersuchung gleichfalls benutzt wurden und in den obigen Tabellen bereits enthalten sind. Ihre Gesamtzahl beträgt für Berlin 20, für Hald 49.[1]) Endlich wurden seitens der jütländischen Station mit gutem Erfolge noch insgesamt 15 Drachenaufstiege auf See ausgeführt, von denen zwei auf September, 9 auf April und 4 auf Mai entfallen. Sie sind ebenfalls in den oben gegebenen Zahlen enthalten.

Die schon erwähnte Arbeitsmethode der jütländischen Expedition, welche im Gegensatz zu dem Berliner Observatorium in erster Linie darauf ausging, den registrierenden Apparat ununterbrochen in einer größtmöglichen Höhe über dem Erdboden zu halten, stellte naturgemäß nicht nur wegen des ununterbrochenen Tag- und Nachtdienstes erheblich größere Anforderungen an das Personal, sondern brachte auch sehr viel bedeutendere Materialverluste durch Abreißen oder Herunterfallen der Drachen infolge Änderung der Wetterlage mit sich: Während unter Leitung von Herrn Aßmann in Berlin nur 2 wissenschaftliche und 6 Unterbeamte beschäftigt waren, hatte Herr Teisserenc de Bort 6 wissenschaftliche und 22 Unterbeamte zur Verfügung, und während andrerseits auf der Station des letzteren bei insgesamt 78 Aufstiegen Havarie erlitten wurde — abgesehen von den schon erwähnten Ballons-sondes, welche samt Apparat verloren gingen, — war dies am Berliner Observatorium nur bei 23 Aufstiegen der Fall.

Es leuchtet ein, daß die an zwei getrennten Stationen durch Drachenaufstiege erhaltenen Beobachtungen nur dann vollkommen vergleichbar sind, wenn 2 Bedingungen erfüllt werden: einmal müssen die Beobachtungen möglichst gleichzeitig erfolgen, und dann müssen die an beiden Orten erreichten Höhen die gleichen sein.

Die erste der beiden Bedingungen ist in dem vorliegenden Falle nur sehr unvollkommen erfüllt. Die Berliner Beobachtungen sind fast stets in den Vormittagsstunden gemacht, während diejenigen in Hald sich über alle Tagesstunden verteilen, wenngleich auch dort der Vormittag bevorzugt ist, und das Mittel aus allen Beobachtungen eine Tagesstunde ergibt, welche nahe mit der Berliner Beobachtungszeit — 10^h a. m. — übereinstimmt. Allein es ist ersichtlich, daß diese Bedingung der Gleichzeitigkeit hauptsächlich bei Vergleichung zweier einzelner Aufstiege aufrecht zu erhalten ist, während sie für eine Vergleichung von Monatsmitteln und mittleren Änderungen mit der Höhe, wie sie die vorliegende Untersuchung hauptsächlich bezweckt, nicht in demselben Maße unerläßlich ist. Weit wichtiger ist hier die andere

[1]) Abgesehen von 15 Ballons-sondes, welche mit Apparat verloren gingen, vermutlich, indem sie in die See fielen.

Bedingung der gleichen Höhen. Denn wenn die eine der beiden Stationen fortgesetzt oder auch nur überwiegend größere Höhen erzielt als die andre, so wird sie sowohl für die Häufigkeit als auch für die Höhe von Erscheinungen wie Inversionen und dergl. einen erheblich größeren Mittelwert erhalten, ohne daß dies den wirklichen Verhältnissen zu entsprechen braucht. Es ist selbstverständlich, daß die genannte ideale Bedingung niemals vollkommen erfüllt sein kann, die Aufstiege an verschiedenen Stationen werden stets ungleiche Höhe haben. Man muß wohl oder übel die daraus entspringende Unsicherheit mit in den Kauf nehmen und sich mit der Annahme begnügen, daß sich die Fehler von beiden Seiten bis zu einem gewissen Grade aufheben werden, wenn nur die mittleren Höhen an beiden Stationen nicht allzu verschieden ausfallen. Freilich gäbe es ja ein einfaches Verfahren, um den Höhenunterschied ganz zu beseitigen: man brauchte ja nur von dem höheren von je zwei gleichzeitig ausgeführten Aufstiegen den obersten Teil zu vernachlässigen und lediglich den unteren Teil bis zu derjenigen Höhe zu verwenden, welche auch von der andern Station erreicht wurde, allein man wird sich zu einer solchen Unterdrückung eines Teils des gegebenen Materials nur schwer entschließen — jedenfalls nur dann, wenn auch die mittleren Höhen für die beiden Stationen sich als sehr verschieden herausstellen.

Bei den vorliegenden Beobachtungen von Hald und Berlin ist letzteres nicht der Fall, die Monatsmittel der erreichten Höhen stimmen vielmehr im großen und ganzen gut überein.

Die nachstehende Tabelle gibt diese Monatsmittel für beide Stationen.

Mittlere Höhen.

		Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai
Meter Seehöhe	Berlin	1880	1729	1550	1322	1222	1398	1683	1358	1754	1606	1466
	Hald	1245	1299	1850	1552	1325	1378	821	1508	1766	1522	1633
Differenz B.—H.		635	430	—300	—230	—103	20	862	—150	—12	84	—167

Man sieht, daß die Übereinstimmung im Juli schlecht ist, offenbar, weil in diesem Monat in Hald noch technische Schwierigkeiten zu überwinden waren, dann aber immer besser wird, und nur im Januar wiederum ganz ausbleibt. Die Ursache des letzteren Ausfalls ist in einer Beschädigung des Windenturms in Hald zu suchen, welche dazu zwang, mit der Handwinde zu arbeiten. Gibt man den Monaten Juli und Mai das Gewicht $^1/_2$, allen übrigen das Gewicht 1, so ergibt sich als Gesamtmittel für Berlin 1530 m und für Hald nur wenig verschieden 1446 m.

Die folgende Tabelle gibt ferner die absolute Maximalhöhe an, die in jedem Monat erreicht wurde. Diese Angabe erschien insofern von Interesse, als oft ein einziger sehr hoher Aufstieg imstande ist, das Monatsmittel sehr beträchtlich zu heben.

Maximalhöhen.

	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai
Berlin	3022	2706	3515	3410	2738	4820	3466	3862	4568	3710	4565
Hald	1786	2427	3721	3448	3363	3113	1138	3092	4050	5908 [1])	4035 [1])
Differenz B.—H.	1236	279	—206	—38	—625	1707	2328	770	518	—2198	530

Die Differenz ist, wie ersichtlich, wiederum in den Monaten Juli und Januar besonders groß, dann aber auch im Dezember, und in umgekehrtem Sinn wegen eines außerordentlich hohen, in Hald gelungenen Aufstieges von fast 6000 m Höhe auch im April.

[1]) Bei einem Aufstieg auf See, vom Deck eines Dampfers aus.

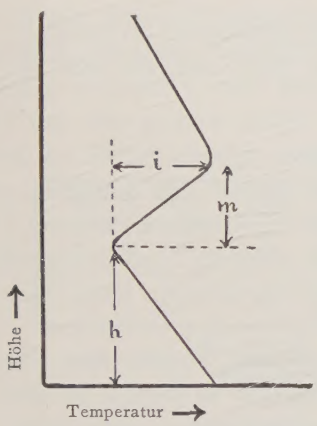
Für die letzte, wie für die vorhergehende Tabelle ist noch zu bemerken, daß die Ballon-sonde-Aufstiege und Freifahrten ausgeschlossen wurden. Die Aufstiege dieser Art sind auch im folgenden nur bis zur Höhe von 4000 m verwendet worden, weil oberhalb dieser Höhe meist die horizontale Entfernung der Ballons vom Ausgangspunkte zu groß wird.

Diese Angaben mögen genügen, um ein gewisses Kriterium für die Vergleichbarkeit der beiden Beobachtungsreihen zu verschaffen.

Inversionen.

Bei unserer gegenwärtig noch sehr unvollkommenen Kenntnis der Ursachen und des Wesens der Inversionserscheinungen trat für eine statistische Behandlung derselben insofern eine Schwierigkeit ein, als einstweilen noch fast jeder Anhalt dazu fehlt, an welchem Punkte eine solche einzusetzen hat, um zu einem lohnenden Resultat zu führen. Es war infolgedessen nötig, manche sich später als zwecklos erweisenden Zusammenstellungen zu machen, während man andrerseits nicht sicher ist, alles Wesentliche untersucht zu haben. Wenngleich also eine Vollständigkeit — wie überhaupt in dieser Arbeit, so auch namentlich bei der folgenden Untersuchung — nicht angestrebt werden kann, so werden doch die sich hier ergebenden Gesetzmäßigkeiten, welche mit früheren Untersuchungen über diesen Gegenstand in bester Übereinstimmung stehen, für künftige eingehendere Bearbeitungen manchen Fingerzeig zu geben vermögen.

Bekanntlich tritt eine Inversion in der freien Atmosphäre in der Weise zutage, daß die normale Temperaturabnahme in einer bestimmten Höhe h (siehe Figur) plötzlich unterbrochen wird, und nun eine Luftschicht von einer bestimmten mehr oder minder großen Mächtigkeit m folgt, in welcher die Temperatur nach oben zunimmt, und zwar um den Betrag i (Intensität der Inversion), worauf dann wieder der normale, näherungsweise adiabatische Temperaturverlauf einsetzt. Zu einer statistischen Untersuchung lassen sich offenbar, abgesehen von der Häufigkeit, die Größen h, m und i, welche alle drei scharf durch die Beobachtung erhalten werden, verwenden, und zwar nicht nur durch Mittelbildung für jede dieser Größen, sondern auch durch Aufdecken ihrer Abhängigkeit von verschiedenen meteorologischen Faktoren, wie Windrichtung u. a. m.



Es wird noch bemerkt, daß bei der folgenden Untersuchung die Isothermien (i = o), welche der herrschenden Meinung nach nur Intensitätsunterschiede von den Inversionen darstellen, darum mit diesen zusammengefaßt wurden, daß dagegen die Bodeninversionen (h = o) ausgeschlossen worden sind, welche in einem weiteren Kapitel gesondert betrachtet werden sollen. Diese Trennung erschien deshalb zweckmäßig, weil die wohlbekannte Ursache dieser Bodeninversionen — die Ausstrahlung der Erdoberfläche in der Nacht — offenbar eine andere ist als diejenige der Inversionen in größerer Höhe. Denn obwohl auch hier in einzelnen Fällen, wie an den oberen Begrenzungsflächen der Wolken, möglicherweise Strahlungswirkungen zur Geltung kommen, so zeigen doch alle diejenigen Fälle, in denen Inversionen bei klarem Himmel angetroffen wurden, daß mit dieser Erklärung der Grund der Erscheinung nicht erschöpft sein kann, so wenig wir auch ihre wahre Ursache gegenwärtig mit Gewißheit anzugeben vermögen. Die ganze Erscheinung stellt sich uns vielmehr in der Weise dar, daß wir zwei verschiedene Luftschichten, eine obere warme und eine untere kalte, vorfinden, zwischen denen eine mehr oder minder mächtige Übergangs- oder Mischungsschicht ausgebildet ist, innerhalb welcher

nun die Temperatur dies umgekehrte Gefälle zeigt. Bei diesem prinzipiellen Unterschiede der beiden Erscheinungen mußte eine Trennung für die statistische Bearbeitung sehr wünschenswert erscheinen, zumal da die Bodeninversionen, wie aus dem folgenden Kapitel zu ersehen ist, wegen der Verschiedenheit des Land- und Seeklimas mit sehr verschiedener Häufigkeit und Stärke an den beiden Stationen auftreten, so daß sie das Resultat stark modifiziert haben würden, wenn sie mit in diese Zusammenstellung aufgenommen worden wären.

1. Häufigkeit der Inversionen.

a) Im Ganzen wurden innerhalb des vorliegenden Zeitraumes in Berlin an 133 Tagen, in Hald an 106 Tagen Inversionen vorgefunden. Aber nur 60 hiervon sind simultan, sodaß in Berlin an 73, in Hald an 46 Tagen Inversionen beobachtet wurden, ohne daß die andere Station gleichzeitig eine solche gefunden hätte. Nun sind unter diesen $73 + 46 = 119$ Tagen nicht weniger als 47, an denen eine von beiden Stationen überhaupt keinen Aufstieg ausführte, und weitere 41, an denen sie die Höhe nicht mehr erreichte, in welcher auf der andern Station die Inversion gefunden wurde. Bringt man diese 88 Fälle in Abzug, so bleiben 31 Tage, an welchen die Inversion nur an einer, und 60, in denen sie auf beiden Stationen gefunden wurde, d. h. in 60 Fällen unter den 91 möglichen, oder in 66% aller möglichen Fälle wurden die Inversionen gleichzeitig über Berlin und Hald angetroffen.

Herr Aßmann findet a. a. O. für Hamburg und Berlin eine noch höhere Zahl, nämlich 77.8%, und es liegt nahe, die Erklärung hierfür in dem Umstande zu suchen, daß Hald doch schon erheblich weiter von Berlin entfernt ist als Hamburg, wodurch naturgemäß die Zahl der gleichzeitig auftretenden Inversionen herabgedrückt werden muß.

b) Daß die Inversionen im Winter weitaus häufiger angetroffen werden als im Sommer, ist bereits durch zahlreiche Beobachtungen gesichert. In unserem Falle stellen sich die Zahlenwerte folgendermaßen.

Zahl der Inversionen in Prozenten der Aufstiege.

	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai
Berlin	33	40	42	56	**75**	50	65	57	48	30	7
Hald	25	45	67	64	**79**	62	39	37	52	43	56

An beiden Stationen war also der November der inversionsreichste Monat, und das Hervortreten der Wintermonate überhaupt erhellt aus dem Umstande, daß in Berlin in den Monaten Oktober bis Februar schon über 50%, in Hald in den Monaten September—Dezember sogar über 60% der Aufstiege auf eine Inversion führten. Sehr augenfällig ist die Verschiebung der inversionsreichsten Zeit, besonders in Hald, nach dem Herbst zu, während der letzte Teil des Winters ebenso wie die Frühlingsmonate bereits wieder ärmer an Inversionen ist. Diese Erscheinung steht in Übereinstimmung mit der allgemeinen, von Herrn v. Bezold seinerzeit eingeführten Vorstellung, daß die Inversionen im Herbst durch die allmähliche Fortpflanzung der Abkühlung in die freie Atmosphäre entstünden.

c) Es lag ferner nahe, zu untersuchen, ob die Häufigkeit der Inversionen nicht bei den verschiedenen Windrichtungen (am Erdboden) verschieden ausfallen würde, da doch die Windrichtung im großen Durchschnitt charakteristisch für die jeweilige Wetterlage ist, und eine Abhängigkeit der Inversionen von der Wetterlage — so wenig sie sich auch näher präzisieren läßt — doch jedenfalls angenommen werden muß. In der Tat hat ja auch Herr Aßmann a. a. O. gezeigt, daß übereinstimmend sowohl in Hamburg als Berlin die meisten Inversionen bei östlichen und südöstlichen Winden gefunden werden.

Die folgende Tabelle, welche analog der des Herrn Aßmann hergestellt ist, zeigt, daß auch in unserem Falle das Resultat ein ganz ähnliches ist. Sie gibt an, wieviel Prozent der Gesamt-Anzahl der Inversionen auf die einzelnen Windrichtungen entfallen.

Anteil der Windrichtungen an der Anzahl der Inversionen, in %.

Wind	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Berlin	2	6	16	**28**	14	17	15	3
Hald	5	14	**29**	15	12	12	4	9

Um für die Windrichtung die tägliche Periode eliminieren zu können, war es erforderlich, gleichzeitige Ablesungen zu verwenden; da solche aber nicht grundsätzlich an beiden Stationen angestellt wurden, so wurde es vorgezogen, die gleichzeitigen Morgenablesungen der Stationen Berlin und Vestervig zu verwenden.

Die meisten Inversionen wurden also in Berlin bei SE, in Hald bei E gefunden. Herr Aßmann fand in vollkommen übereinstimmender Weise das Maximum für Berlin bei SE und für Hamburg bei E, sodaß sogar diese kleine Differenz zwischen den beiden jeweiligen Beobachtungsorten keinen zufälligen Charakter zu haben scheint.

Bei einer weiteren Verfolgung der Tatsachen ist es indessen nötig, sich die Bedeutung dieser Angaben gegenwärtig zu halten. Es geht aus den mitgeteilten Zahlen noch keineswegs hervor, daß der SE-Wind in Berlin der inversionsreichste ist, und in Hald der E, wenn auch bei diesen Windrichtungen tatsächlich die meisten Inversionen gefunden wurden. Denn es muß offenbar von entscheidendem Einfluß sein, ob die betreffende Windrichtung überhaupt häufig vorkommt oder nicht. Wäre z. B. der Südost-Wind der häufigste, so müßte selbst dann auf ihn der größte Anteil der Inversionen entfallen, wenn ihre Häufigkeit ganz unabhängig von der Windrichtung und sie also ganz gleichmäßig über alle Quadranten verteilt wären. Um das Resultat von diesem Einfluß der Häufigkeit der Windrichtung selber zu befreien, welcher die wahren Verhältnisse umsomehr verschleiern muß, je mehr eine bestimmte Windrichtung gegenüber den übrigen überwiegt, habe ich in der folgenden Tabelle angegeben, wieviel Prozent der bei den einzelnen Windrichtungen erfolgten Aufstiege auf eine Inversion führten.

Häufigkeit der Inversionen bei verschiedenen Windrichtungen.

Wind	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Berlin	40	58	**89**	51	44	40	33	**14**
Hald	55	76	**81**	74	38	45	**17**	32

Diese Zahlen geben nun in der Tat den Reichtum der betreffenden Windrichtung an Inversionen an. Man sieht, daß jetzt sowohl in Berlin, als auch in Hald der E-Wind der inversionsreichste ist, sodaß die in der vorigen Tabelle aufgetretene Differenz wohl lediglich dem Umstande zugeschrieben werden darf, daß die Windrichtungen selbst an beiden Orten nicht gleich häufig sind. Die Tabelle zeigt nun auch ein sehr ausgeprägtes Minimum im W und NW. Der Gang dieser Zahlen wird durch die graphische Darstellung Fig. I im Anhange anschaulicher gemacht, welche das Überwiegen des östlichen Quadranten gegen den westlichen deutlich zeigt.

Ein bemerkenswerter Unterschied zwischen Hald und Berlin läßt sich jedoch nicht mit Sicherheit feststellen.

d) Um ferner zu untersuchen, in welcher Weise die Häufigkeit der Inversionen von der am Erdboden herrschenden Windstärke abhängt, wurden die Aufstiegstage nach den Windgeschwindigkeiten geordnet und festgestellt, wieviel Inversionen auf jede Windgeschwindigkeit entfallen. Um hierbei die tägliche Periode des Windes eliminieren zu können, wurde wiederum die Morgen-Ablesung der schon genannten benachbarten Stationen verwendet. Wird die Anzahl der zu jeder Windgeschwindigkeit gehörigen Inversionen in Prozenten der Gesamtsumme der Inversionen ausgedrückt, so erhält man folgendes Ergebnis:

Anzahl der Inversionen.

Windstärke	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Berlin	7	26	36	21	10	1	0	0	0
Hald	1	6	36	0	31	0	18	0	8

Es zeigt sich, daß in gleicher Weise in Hald wie in Berlin 36% aller beobachteten Inversionen bei einer am Erdboden herrschenden Windstärke 2 gefunden wurden. Indessen muß auch hier dieselbe systematische Verschleierung des Resultats eintreten wie bei der vorigen Untersuchung, indem sich offenbar der Einfluß der Häufigkeit der verschiedenen Windstärken sehr geltend machen muß. Da aber gerade die Windstärke 2 die häufigste ist, während sowohl die geringeren als auch die höheren rasch an Häufigkeit abnehmen, so wäre es offenbar voreilig, wollte man aus dieser Tabelle den Schluß ziehen, daß die Windstärke 2 die inversionsreichste sei.

In der Tat stellt sich das Ergebnis auch gänzlich anders, wenn wir die zu jeder Windstärke gehörige Inversionenzahl in Prozenten der bei diesem Wind ausgeführten Aufstiege ansetzen.

Häufigkeit der Inversionen.

Windstärke	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Berlin	73	48	46	43	39	20	—	—	—
Hald	100	70	59	—	59	—	58	—	27

Selbst wenn die Zahlen dieser Tabelle einen weniger stetigen Gang aufwiesen, würde man das Gesetz, welches sich hier zeigt, deutlich erkennen: je geringer die Windgeschwindigkeit am Erdboden ist, desto häufiger werden Inversionen gefunden. Aber hier zeigt sich auch bereits ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden Stationen in dem Sinne, daß in Berlin bei den höheren Windstärken die Häufigkeit erheblich geringer ist, als in Hald. Es dürfte dies vielleicht darin seinen Grund finden, daß die Verzögerung der untersten Luftschicht durch Reibung an der Erdoberfläche in Hald wegen der Nähe des Meeres nicht so groß ist wie in Berlin. Diese Erscheinung, die in dem Kapitel über die Windzunahme mit der Höhe näher untersucht werden wird, muß offenbar zur Folge haben, daß einer bestimmten Windgeschwindigkeit in Hald eine erheblich geringere in Berlin entspricht, wodurch auch die in unserer Tabelle zutage tretende Differenz eine Erklärung fände.

Es wäre daher nicht unwahrscheinlich, daß letztere erheblich vermindert würde — ganz verschwinden kann sie nicht, da die Windgeschwindigkeit in Hald in allen Höhen größer ist als in Berlin, wie im voraus bemerkt werden mag — wenn man anstatt der Windgeschwindigkeit am Erdboden etwa diejenige in 500 m Höhe der Einteilung zugrunde legte, in welcher die Reibungserscheinungen keinen erheblichen Einfluß mehr auszuüben scheinen.

2. Die Höhe der Inversionen.

Eine Vergleichung der Höhen, in welchen an den beiden Stationen die Inversionen angetroffen wurden, kann nur dann zu einem brauchbaren Resultat führen, wenn auf beiden Stationen auch die gleichen Höhen bei den Aufstiegen erzielt wurden. Da diese Bedingung der ganzen Sachlage nach stets nur sehr unvollkommen erfüllt sein kann, so werden auch die Untersuchungen über die Höhen der Inversionen mit einem relativ hohen Grade von Unsicherheit behaftet sein. Einen gewissen Anhaltspunkt dafür, wie diese Bedingung erfüllt ist, geben die eingangs angeführten Monatsmittel der bei den Aufstiegen auf beiden Stationen erreichten Höhen. Als besonders unsicher müssen hiernach die Monate Juli, Januar und Mai gelten.

Für die Höhe der Inversionen, die Größe h der Figur auf S. 5, ergeben sich folgende Monatsmittel:

Mittlere Höhenlage der Inversionen.

		Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai
Seehöhe Meter	Berlin	1200	1336	1123	1011	740	941	772	896	1194	1249	1540
	Hald	850	1200	1095	1153	914	747	313	806	933	973	667

Verleiht man allen Monatsmitteln gleiches Gewicht, so ergibt sich im Jahresmittel für Berlin die Höhe 1099 und für Hald 877 m, wobei allerdings zu beachten ist, daß in beiden Fällen der Monat Juni ganz fehlt. Durchschnittlich lagen also in Berlin die Inversionen beträchtlich höher als in Hald.

Dies Ergebnis ist insofern überraschend, als Herr Aßmann a. a. O. die mittlere Höhe der Inversionen für Hamburg etwas größer fand als für Berlin (932 gegen 775 m), wobei freilich auch er schon auf die Unsicherheit dieser Zahlen hinweist. Dieselbe tritt auch ganz besonders in dem Umstande zutage, daß das Jahresmittel für Berlin selber in beiden Fällen so verschieden ausgefallen ist. Noch erklärlicher wird diese Abweichung, wenn man berücksichtigt, daß das Resultat in der vorliegenden Arbeit auf anderem Wege als dort gefunden wurde, nämlich unter Ausschluß der Bodeninversionen.

Man sieht, daß das geringere Jahresmittel von Hald namentlich durch die beiden Monate Januar und Mai hervorgerufen wird, welche ganz aus der Reihe der übrigen herausfallen, während der sonstige Verlauf in Hald ziemlich mit dem für Berlin übereinstimmt. Gerade die genannten Monate aber sind ganz besonders unsicher, der erstere, weil, wie schon eben bemerkt, seine mittlere Höhe erheblich hinter der der andern zurückbleibt, der letztere, weil seine relativ gute Höhe durch eine geringe Anzahl sehr hoher Aufstiege gewonnen wurde.

Bei der Kurve für Berlin aber tritt eine andere Eigentümlichkeit sehr scharf hervor, nämlich eine ausgeprägte jährliche Periode, indem die Monatsmittel nur in den Monaten November bis Februar unter 1000 m, in allen übrigen über 1000 m liegen. Für Hald kommt diese Jahresperiode wegen der erwähnten Unregelmäßigkeiten nicht zur Geltung. Auch Herr Aßmann hat a. a. O. eine jährliche Periode in demselben Sinne angedeutet gefunden, nur konnte er sie umgekehrt für Hamburg nachweisen, während sie damals in Berlin nicht mit Deutlichkeit zur Geltung kam.

Eine Erklärung dieser Periode könnte man in dem vertikalen Luftaustausch erblicken, welcher über dem Erdboden bei Erwärmung desselben eintritt, und welcher die Schichtbildung stört, und zwar im Sommer weiter hinauf als im Winter.

3. Die Intensität der Inversionen.

a) Als Intensität hatten wir die Temperaturzunahme innerhalb der umkehrenden Schicht, also die Größe i in der Figur S. 5 bezeichnet. Um die Beobachtungen der beiden Stationen in bezug auf diese Größe zu untersuchen, wurde festgestellt, wie oft eine Isothermie, eine Temperaturzunahme um 1°, um 2° etc. beobachtet wurde. Es ergaben sich folgende Werte:

Häufigkeit der Inversionen verschiedener Intensität.

	Isoth.	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°
Berlin	18	28	29	16	10	6	4	2	4		4			2		1
Hald	16	16	23	17	12	9	5	4	3		3					

Man sieht aus dieser Tabelle, daß übereinstimmend sowohl in Berlin als in Hald die Hauptmenge der Inversionen eine Temperaturzunahme von etwa 2° aufweist. Sowohl geringere als auch größere Temperaturzunahmen sind seltener. Bildet man das Mittel, so ergibt sich mit großer Übereinstimmung für Berlin eine mittlere Temperaturzunahme von 2.86° und für Hald eine solche von 2.94°.

b) Um ferner die Untersuchung noch auf einen andern Punkt zu lenken, wurde die in jedem Monat beobachtete stärkste Temperaturumkehr notiert. Es ergab sich folgende Tabelle:

Maximalinversionen.

	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai
Berlin	2°	5°	4°	8°	8°	13°	15°	8°	5°	2°	2°
Hald	1°	3°	6°	8°	5°	10°	7°	5°	5°	3°	6°

Die stärkste Inversion wurde also in Berlin im Januar, in Hald im Dezember angetroffen, und die Zahlenreihen zeigen eine ausgeprägte jährliche Periode, welche in der graphischen Darstellung (Fig. 3 im Anhang) augenfällig zutage tritt.

Am deutlichsten ist die Jahresperiode in den Berliner Beobachtungen zu erkennen, während diejenigen von Hald keine so großen Extreme aufweisen. Es scheint aus beiden Kurven hervorzugehen, daß auch der Spätsommer und Herbst bereits starke Inversionen aufweisen, während das Minimum offenbar im Frühjahr und in den ersten Sommermonaten zu suchen ist.

Der Unterschied, welcher sich zwischen Hald und Berlin zeigt, läßt sich dahin zusammenfassen, daß Berlin im Winter erheblich stärkere Inversionen aufzuweisen hat als Hald, während in den Sommermonaten kein wesentlicher Unterschied nachweisbar ist. Man wird auch hier wieder auf den klimatischen Unterschied der beiden Orte als die wahrscheinliche Ursache dieses verschiedenen Verhaltens hingewiesen, indem das mehr kontinentale Klima Berlins offenbar in der kalten Jahreszeit die Ausbildung sehr kalter Luftschichten am Boden und das hiermit verbundene Auftreten von starken Inversionen begünstigen muß, während in Hald der Gegensatz zwischen Sommer und Winter durch die Nähe des Meeres schon erheblich ausgeglichen ist.

Bildet man das Mittel aus den Maximalwerten, so ergibt sich für Berlin ein mittleres Maximum von rund 7°, für Hald ein solches von rund 5°, wobei wieder zu berücksichtigen ist, daß der Monat Juni fehlt.

4. Die Mächtigkeit der umkehrenden Schicht.

Wir betrachten endlich die Mächtigkeit der umkehrenden Schicht, die Größe m der Figur auf S. 5. Es ergeben sich hierfür folgende Monatsmittel:

Mächtigkeit der umkehrenden Schicht.

		Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai
Berlin	m	225	245	273	237	360	**457**	359	308	211	273	210
Hald	m	200	262	307	383	412	**567**	530	469	388	400	364

Die Monate November bis Februar sind die einzigen, welche in Berlin mehr als 300, in Hald mehr als 400 m geben. Die größte Mächtigkeit findet sich in beiden Stationen im Dezember.

Die jährliche Periode, welche sich in diesen Zahlen zeigt, geht noch augenfälliger aus der graphischen Darstellung (Fig. 4 im Anhang) hervor, in welcher sogar der Verlauf im Einzelnen an den beiden Stationen zum größten Teil ganz parallel geht.

Man sieht aber auch, daß im Durchschnitt für Hald eine größere Mächtigkeit resultiert. In der Tat erhalten wir, wenn wir die obigen Monatsmittel zu einem Gesamtmittel vereinigen, indem wir jedem derselben das gleiche Gewicht beilegen, für Berlin 287 m, und für Hald 389 m. Auf letzterer Station sind also die Inversionsschichten rund 100 m mächtiger als über Berlin. Es liegt auf der Hand, daß der fehlende Monat Juni dies Resultat nicht wesentlich zu ändern imstande ist.

Eine der hier gefundenen ganz ähnliche Periode für die Mächtigkeit der Inversion ist im einzelnen Fall von Herrn Berson in dem Berichtwerke „Wissenschaftliche Luftfahrten“ konstatiert worden, und zwar für den Verlauf des Tages; sollte sich die Beobachtung bestätigen, so würde sie mit dem hier gewonnenen Resultat jedenfalls vollkommen übereinstimmen.

Welche Bewandtnis es mit dieser so deutlich ausgesprochenen jährlichen Periode der Mächtigkeit der umkehrenden Schicht habe, wird man gegenwärtig kaum in befriedigender Weise entscheiden können. Hält man an der Auffassung fest, daß die umkehrende Schicht nur die Übergangszone von der unteren zur oberen warmen Schicht ist, sodaß die hier betrachtete Größe eigentlich nichts anderes ist als die Dicke dieser Mischungszone, so ergeben sich allerdings eine ganze Reihe von Wegen, auf welchen man dem Wesen dieser Erscheinung näher kommen könnte. So könnte man die Abhängigkeit von der Intensität der Inversion untersuchen, denn je größer die Temperaturdifferenz der beiden Schichten ist, in desto größerer Mächtigkeit wird sich vermutlich der Ausgleich geltend machen. Ebenso könnte man die Abhängigkeit von den Windverhältnissen in beiden Schichten aufzudecken suchen, da es wohl nicht gleichgültig für die Mächtigkeit der Mischungszone sein wird, mit welcher Geschwindigkeit die obere Schicht über der unteren einherzieht — und dergl. mehr. Allein diese Arbeit würde doch zunächst mit dem Material einer einzigen Station zu einem gewissen Abschluß zu bringen sein, bevor man sich von dem Vergleiche mit einer zweiten Station wesentlichen Nutzen versprechen könnte.

Das Gleiche gilt einstweilen wohl auch noch von einer Beziehung ganz anderer Art, welcher Herr Aßmann a. a. O.[1]) nachgeforscht hat, nämlich dem Nachweis eines Zusammenhanges der Inversionen mit den an den europäischen Küstenländern gefallenen Niederschlagsmengen. Diese Untersuchungen wurden daher bei der vorliegenden Arbeit ausgeschlossen.

---

[1]) Sitzungsbericht der Kgl. Preuß. Akademie der Wissenschaften 1903 XIV, und diese Zeitschr. Heft I.

Die Erdboden-Inversionen.

Während wir in den Temperatur-Umkehrungen, welche in der freien Atmosphäre oder über Wolken getroffen werden, Erscheinungen vor uns sehen, über deren Wesen wir noch zu keinem abschließenden Urteil gelangt sind, befindet man sich bei einer Untersuchung der Erdboden-Inversionen in einer sehr viel günstigeren Lage, da wohl nur eine Meinung über sie besteht.

Die Erdboden-Inversionen bilden sich, sobald die Erde durch Ausstrahlung nachts erkaltet, indem von dem Boden auch die benachbarte Luft abgekühlt wird (s. Fig. A).

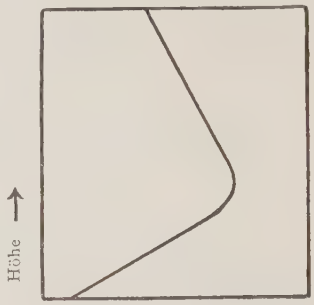


Fig. A.

Zunächst dürften daher alle die Temperatur-Umkehrungen, deren tiefste Temperatur am Erdboden gefunden wurde, als Erdboden-Inversionen zu betrachten sein; wird aber morgens durch die Sonnenstrahlen der Erdboden langsam wieder erwärmt, so wird die unmittelbar benachbarte Luft in ihrem Temperaturverlauf sofort folgen, die etwas weiter entfernte dagegen, welche im Verlauf der langen Nacht abgekühlt wurde, zunächst unverändert bleiben (s. Fig. B).

So tritt in den Morgenstunden vorübergehend der Fall ein, daß eine Inversion in der freien Atmosphäre gefunden wird, die dennoch auf die Ausstrahlung der Erde zurückzuführen ist. Da nun die meisten Aufstiege morgens beginnen, sobald die Helligkeit für die erforderlichen technischen Maßnahmen ausreicht, so ist es erklärlich, wenn sehr viele Aufstiege gerade diese Erscheinung feststellen, obgleich dieselbe naturgemäß als ein Übergang von der Inversion zum normalen Temperaturgefälle nur kurze Zeit bestehen kann. Zugleich tritt aber an die Untersuchung die Notwendigkeit heran, diese Erscheinungen nach irgend welchen Gesichtspunkten von den in der freien Atmosphäre beobachteten zu trennen; um eine fehlerhafte Zählung jener zu vermeiden. Es ist von vornherein klar, daß eine derartige Trennung nicht scharf sein kann, vielmehr wird man sich mit einer gewissen Willkür zufrieden geben müssen, um wenigstens grobe Fehler auszuschließen. Das Kennzeichen aber, durch welches in roher Näherung die Erdboden-Inversionen zu bestimmen sind, ist die Höhenlage ihres Temperaturmaximums: diese ist eine Funktion der Zeit, während welcher die Abkühlung erfolgt. Nehmen wir der Vereinfachung halber an, daß der Temperaturausgleich in der Atmosphäre gleichförmig fortschreitet, so wird die Abkühlung sich in um so größere Höhen fortpflanzen, je länger die Erde den Sonnenstrahlen entzogen bleibt. Nun zeigt die Erfahrung, daß im Hochsommer die Erdboden-Inversionen bis in rund 200 m Höhe reichen. Als Beispiele seien folgende genannt, als die einzigen, die in die Beobachtungszeit fallen.

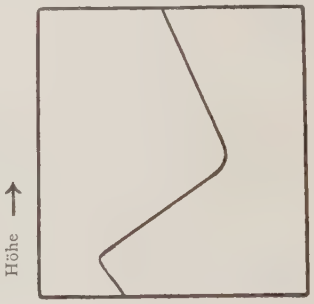


Fig. B.

7. August. Berlin, Freiballon, Inversion von 15.7 auf 16.3° bei 216 m;

2. September. Berlin, Drachenballon, Inversion von 15.0 auf 15.6° bei 255 m.

Nehmen wir weiter an, daß die Winternacht doppelt so lange dauert, wie die kürzeste Nacht des Hochsommers, so ergibt sich, daß die Inversionen, welche bis 400 m Höhe reichen, aller Wahrscheinlichkeit nach auf die Ausstrahlung der Erde zurückzuführen sind. Es wurden deshalb alle unter 500 m liegenden Inversionen von dem vorangegangenen Kapitel ausgeschlossen, obgleich, wie mehrmals betont werden muß, diese Maßnahme nicht frei von Willkür ist. Der soeben festgestellte Unterschied zwischen Sommer und Winter konnte zugleich fallen gelassen werden, weil in der in Frage stehenden Zeit zufällig in den Sommer-

monaten keine Inversionen in der Nähe der Erde beobachtet wurden, welche zu einer kritischen Behandlung Anlaß geboten hätten. Eine spezielle Untersuchung der Temperatur-Umkehrungen über dem Erdboden hatte weder in dem Arbeitsplane der Herren Teisserenc de Bort, noch Aßmann gelegen; so wird es begreiflich, daß die diesbezüglichen Beobachtungen nur sehr lückenhafter, — weil eben zufälliger — Natur sein können. Dies ist besonders bei der Zusammenstellung der Häufigkeit zu berücksichtigen, da im Sommer die Inversionen eine nur geringe Mächtigkeit haben und früh verschwinden; daher dürfte den folgenden Zahlenangaben nur ein bedingter Wert beizumessen sein.

Häufigkeit der Erdboden-Inversionen.

		Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai
Berlin	Zahl der Inversionen	0	0	6	3—6	9	8	8	9	7	3	1
	in % der Aufstiegstage	0	0	15	12	24	25	22	21	16	7	5
Hald	Zahl der Inversionen	1	1	5	5	4	10	6	0	3	3	1
	in % der Aufstiegstage	12	5	23	14	9	36	46	0	6	6	10

Der große Überschuß, welchen der Winter gegenüber dem Sommer aufweist, wird aus dem oben genannten Grunde fraglich bleiben müssen; größeres Vertrauen beansprucht schon die Tatsache, daß in Berlin häufiger als in Hald Bodeninversionen beobachtet wurden, da für beide Stationen die Wahrscheinlichkeit einer solchen Wahrnehmung gleich groß ist, und die Tatsache mit den allgemeinen Vorstellungen übereinstimmen würde.

Sicherer ist das Bild, das wir von der Intensität der Inversionen erhalten. Für diese Seite der Erscheinung wurden, wie in dem vorangegangenen Kapitel, die Maximalinversionen verglichen, welche denn auch schon einen ganz regelmäßigen Gang aufweisen.

Maxima der Erdbodeninversionen.

	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai
Berlin	—	—	7°	6°	7°	13°	8°	5°	5°	6°	1°
Hald	2°	Isoth.	6°	3°	4°	10°	7°	—	2°	2°	Isoth.

Es folgt aus der Nebeneinanderstellung, daß die Bodeninversionen in Jütland schwächer sind als in Berlin, und weiterhin zeigen sich für die Beobachtungszeit ein primäres Maximum im Dezember, und zwei sekundäre im September und Mai. Während die genannten Erscheinungen sonst in Übereinstimmung mit den allgemeinen Vorstellungen stehen, zeigt das zuletzt genannte sekundäre Maximum eine Abweichung, für welche eine sichere Erklärung fehlt, während Vermutungen darüber anzustellen nicht dem Ziele der Arbeit entsprechen würde. In der graphischen Darstellung Fig. 5 sind die fehlenden Angaben interpoliert.

Eine Abhängigkeit endlich von der Windrichtung und Windstärke aufzustellen, erwiesen sich die Angaben als bei weitem nicht ausreichend, auch würde einer Vergleichung zweier Stationen die grundlegende Untersuchung einer einzelnen zweckmäßig vorangehen.

Bodennebel. Waren schon die Feststellungen über die Bodeninversionen teilweise als recht unsicher zu betrachten, so gilt dies in noch viel stärkerem Maße von einer häufigen Begleiterscheinung derselben, nämlich dem Bodennebel. Er entsteht, wenn bei der nächtlichen Abkühlung der erdnahen Luft der Taupunkt derselben unterschritten wird.

Es liegt auf der Hand, daß diese Erscheinung an jeder Station eintreten wird, an welcher Bodeninversionen beobachtet werden, sofern der Beobachtungsort nicht gerade in

einem abnorm trockenen Gelände gelegen ist. Da nun in Hald immerhin nicht selten Bodeninversionen beobachtet sind, so muß es merkwürdig erscheinen, wenn an einem der See so benachbarten Orte gar keine Beobachtung über Bodennebel gemacht wurde, wie dies nach der vorliegenden Publikation der Fall sein müßte. Denn wenn auch die größere Intensität der Erdbodeninversionen auf dem Kontinent dort eine Ursache relativ häufigen Bodennebels werden kann, so müßte man doch a priori meinen, daß einer nicht kontinental gelegenen Station die Nachbarschaft der See und der damit verbundene größere Wasserdampfgehalt der Luft ein gewisses Gegengewicht hiergegen bieten müßte. Da es hiernach kaum anzunehmen ist, daß diese Erscheinung in Hald niemals aufgetreten sein sollte, darf man vielleicht eher vermuten, daß man sie bei der Verarbeitung der Aufstiege nur nicht von anderm Nebel trennen wollte, von welchem sie allerdings nicht scharf zu scheiden ist, außer durch mehr oder minder willkürliche Definitionen. Wenn man die Fälle, in welchen eine solche Entscheidung der franko-skandinavischen Expedition für wahrscheinlich gehalten wurde, mitrechnet, ergibt der Vergleich noch immer einen großen Überschuß an Bodennebel für Berlin, eine Erscheinung, welche in dem Wesen des Land- und Seeklimas ihre einfache Erklärung finden dürfte.

Damit ist die Frage der Inversionen, soweit ihre Behandlung auf Grund des vorliegenden Materials zweckmäßig schien, zu einem gewissen Abschluß gebracht, und es sollen nun im Folgenden die meteorologischen Elemente, wie sie in der Höhe gefunden wurden, einer Vergleichung unterzogen werden, bei welcher indessen wieder darauf hingewiesen werden muß, daß ihre Ergebnisse nur als vorläufige zu betrachten sind, und welche sich wegen der überall auftretenden Schwierigkeiten auf wenige Gesichtspunkte beschränken mußte.

Wind.

Im Folgenden wurde der Versuch gemacht, die vertikale Änderung der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung in Hald und Berlin zu vergleichen. Es muß indessen vorangeschickt werden, daß die Beobachtungen von Hald gerade in bezug auf den Wind sehr unzureichend sind. Infolgedessen mußte von allen speziellen Untersuchungen der Abhängigkeit dieser Erscheinungen von andern meteorologischen Elementen Abstand genommen werden, da die Knappheit des Materials eine Einteilung desselben und eine Bildung von Partialmittelwerten nicht mehr zuließ. Es wurde vielmehr lediglich ein Gesamtmittel für die vertikale Änderung sowohl der Geschwindigkeit als der Richtung des Windes für jede Station gebildet und der Versuch gemacht, hieraus einige Schlüsse zu gewinnen, welche aber naturgemäß bei der Unsicherheit der ganzen Diskussion noch sehr der Bestätigung bedürfen.

1. Die vertikale Änderung der Windgeschwindigkeit.

Die schon bei den ersten Ballonfahrten erkannte und später durch zahllose Beobachtungen immer mehr gesicherte Erscheinung, daß der Wind mit zunehmender Höhe über dem Erdboden eine immer größere Geschwindigkeit aufweist, ist auf Grund größeren Zahlenmaterials zuerst von Herrn Berson in „Wiss. Luftf.“, Bd. III S. 197 ff. einer eingehenden Untersuchung unterworfen worden. Aus den 60 dort bearbeiteten Ballonfahrten hat sich ergeben, daß die Windgeschwindigkeit bis zu etwa 500 m Höhe über dem Erdboden zunimmt, daß jedoch darüber, in der Schicht zwischen 500 und 1500 m, fast gar keine Windzunahme mehr bemerkbar ist, während über 1500 m wiederum eine zunächst langsame Steigerung der Windgeschwindigkeit konstatiert wurde, die nun immer energischer wurde, je höher man hinaufkam. Während dies das Ergebnis von Ballonfahrten darstellt, welche von verschiedenen Aufstiegsorten ausgegangen waren, erschien es nicht unwahrscheinlich, daß zwei in klimatischer Hinsicht so verschiedene Stationen wie Hald und Berlin in bezug auf die Windzunahme mit

wachsender Höhe auch ein verschiedenes Verhalten zeigen würden, zumal da bei dieser Erscheinung offenbar der Reibung der Luft an der Erdoberfläche eine entscheidende Rolle zufällt, deren Einfluß in Hald und Berlin sicherlich nicht der gleiche sein konnte.

Bevor wir auf die Beobachtungsergebnisse selber eingehen, mag kurz erwähnt werden, in welcher Weise die Messungen an den beiden Stationen ausgeführt wurden. In Hald wurde ein Druckanemometer (anemomètre à pression) verwendet, dessen Angaben jedesmal als „un peu indécises" bezeichnet werden. Dies Instrument bietet bei seinen sonstigen Mängeln die Bequemlichkeit, daß es den Verlauf der Windgeschwindigkeit während des ganzen Aufstiegs als Kurve aufzeichnet. Die Auswertung dieser Kurve ist jedoch nur an einzelnen herausgegriffenen Punkten wechselnder Höhe gegeben, auch ist eine solche überhaupt nicht bei jedem Aufstiege vorgenommen worden, sodaß man insgesamt nur 66 Beobachtungen vorfindet, bei denen die Windgeschwindigkeiten am Erdboden und in der Höhe, sowie die Höhe selbst, vollständig angegeben sind. Diese 66 Beobachtungen entsprechen obendrein nur 22 Beobachtungstagen, und wenn diese auch ziemlich gleichmäßig über die ganze Beobachtungszeit verteilt sind, so erhellt daraus doch zur Genüge, daß die folgenden Feststellungen nur sehr unsicher sein können.

Um aus den vereinzelten Angaben Mittelwerte der Windgeschwindigkeit für die verschiedenen Höhenstufen 200, 500, 1000, 1500, 2000 etc. m Höhe zu erhalten, wurden die 66 Beobachtungen in Gruppen eingeteilt, welche den genannten Stufen näherungsweise entsprechen, und so alle Angaben zwischen 150 und 300 m zu einem Mittel vereinigt, welches für 200 m geltend angenommen wurde, während alle Angaben von 350 bis 700 m zu einem für 500 m geltenden Mittel, und ebenso diejenigen von 800 bis 1200 m zu einem Mittel für 1000 m usw. zusammengefaßt wurden. Der strengere Weg der Mittelbildung, bei welchem man aus den Beobachtungen des einzelnen Aufstiegs die Windgeschwindigkeit für die gewünschte Höhe erst zu interpolieren hätte, schien bei der Knappheit der Angaben nicht gangbar.

Für das Berliner Observatorium lagen die Verhältnisse ungleich günstiger; denn hier sind die Angaben eines Anemometers, welches Windwege von bestimmter Länge registriert, für fast sämtliche Aufstiege ausgewertet, und zwar liegen in den sogenannten provisorischen Auswertungen überall gleich die gewünschten Werte für die Höhenstufen vor, sodaß hieraus unmittelbar brauchbare Mittel für diese abgeleitet werden konnten.

Auf dem angegebenen Wege gelangt man für Berlin und Hald zu folgenden mittleren Windgeschwindigkeiten:

Berlin.

Seehöhe in m	0	200	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Windgeschwindigkeit m p. s.	4.2	7.6	9.9	10.4	10.5	13.4	16.5	21.6	22.5
Zahl der Beobachtungen	209	208	201	161	102	54	24	9	6

Hald.

Seehöhe in m	0	200	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Windgeschwindigkeit m p. s.	10.4	10.8	13.9	11.8	12.7	16.3	14.0		
Zahl der Beobachtungen	66	5	20	22	7	7	5		

Der Gang dieser Zahlen wird durch die graphische Darstellung (Fig. 6 im Anhang) veranschaulicht.

Man sieht unmittelbar, daß die Kurve für Berlin nicht nur sehr stetig verläuft, sondern auch das oben erwähnte, aus den Ballonfahrten abgeleitete Gesetz mit großer Deutlichkeit

zum Ausdruck bringt, daß nämlich in der Höhenschicht zwischen 500 und 1500 m die Windzunahme nur sehr gering ist.

Die Unterschiede der Kurve für Hald gegen die des Berliner Observatoriums lassen sich in folgenden 4 Sätzen zusammenfassen.

a) In allen Höhenlagen resultiert für Hald eine größere Windgeschwindigkeit als für Berlin.

Eine Ausnahme hiervon macht allein die Höhe von 2500 m, wo Berlin eine um 2.5 m p. s. größere Windgeschwindigkeit aufweist als Hald, doch liegt auf der Hand, daß der Wert für Hald, der nur aus 5 Beobachtungen abgeleitet ist, sehr unsicher und zweifellos zu klein ist, da bereits für 2000 m eine erheblich größere Geschwindigkeit gefunden wurde. Bildet man für alle Höhenstufen die Differenz Hald-Berlin, und nimmt das Mittel, so zeigt sich, daß Hald durchschnittlich überall eine um 2.5 m p. s. größere Windgeschwindigkeit besitzt. Ob diese Differenz jedoch reell oder nur durch die unzureichenden Beobachtungen hervorgerufen ist, wird man an der Hand des vorliegenden Materials kaum mit Sicherheit entscheiden können, zumal da die Beobachtungen an den beiden Stationen nicht mit gleichartigen Instrumenten gewonnen sind, wodurch sich naturgemäß leicht eine konstante Differenz einstellen kann, die den natürlichen Verhältnissen keineswegs zu entsprechen braucht.

b) Die Verzögerung der untersten Luftschicht ist in Berlin erheblich größer als in Hald.

In Hald bleibt die unterste Luftschicht nur um 3.5 m p. s. gegen diejenige in 500 m Höhe zurück, in Berlin dagegen um 5.7 m p. s.

Noch auffälliger wird diese Erscheinung, wenn wir die bei 200 m herrschende Geschwindigkeit mit der am Erdboden vergleichen. Hier beträgt die Verzögerung für Hald nur 0.4, für Berlin dagegen 3.4 m p. s. Allerdings ist die Angabe für 200 m in Hald sehr unsicher, da sie nur aus 5 Beobachtungen abgeleitet wurde.

Es zeigt sich hier deutlich die auch sonst konstatierte Tatsache, daß in der Nähe des offenen Meeres die Verzögerung der untersten Luftschichten infolge der Reibung an der Erdoberfläche erheblich geringer ist als im Innern des Kontinents.

c) Von 500 bis 1000 m Höhe erfolgt in Hald nicht nur keine erhebliche Windzunahme, — wie in Berlin, sondern sogar eine deutliche Abnahme.

Es ist zu beachten, daß gerade die Werte für 500 und 1000 m für Hald am wenigsten unsicher sind, da sie sich aus 20 bezw. 22 Beobachtungen ergeben. Es zeigt sich also in Hald bei 500 m ein ausgeprägtes Maximum der Windgeschwindigkeit, und die Kurve dieser Station stellt gewissermaßen eine Übertreibung des Verlaufs dar, wie er in Berlin beobachtet wurde. Auch hier müßten wir es bei der Unvollkommenheit des Beobachtungsmaterials einstweilen dahingestellt sein lassen, ob diese Abweichung in ganzem Umfange reell ist oder ob sie nicht wenigstens zum Teil durch die unzureichenden Beobachtungen hervorgerufen ist, wenn nicht gerade für diese Windabnahme eine große Zahl textlicher Bemerkungen der Publikation spräche. Hald verzeichnet 7 mal starke Zunahme mit der Höhe, während Berlin eine solche 26 mal findet, wenn wir bei Berlin die Fälle rechnen, in denen eine Windzunahme von $\leqq$ 7 m p. s. auf $\geqq$ 25 m p. s. in der Höhe beobachtet wurde. Eine Abnahme dagegen wurde in Hald 10 mal, also öfter als starke Zunahme, konstatiert, und für Berlin seltener, nämlich 20 mal.

d) Die Gesamtzunahme der Windgeschwindigkeit mit wachsender Höhe ist in Hald erheblich geringer als in Berlin.

Auch dieser Unterschied, der zum Teil wohl eine Folge des unter Nr. 2 besprochenen ist, läßt sich unmittelbar aus der graphischen Darstellung erkennen. Schließen wir die Höhe

von 2500 m wegen zu großer Unsicherheit aus, so beträgt für Hald die gesamte Windzunahme in den untersten 2000 m nur 3.6 m p. s., für Berlin dagegen 12.3 m p. s.

2. Die vertikale Änderung der Windrichtung.

Wie die im vorangegangenen besprochene Änderung der Windgeschwindigkeit, so ist auch die fortschreitende Änderung der Windrichtung mit zunehmender Höhe eine seit den ersten Anfängen systematischer Forschungen in der freien Atmosphäre wohlbekannte und durch zahlreiche Beobachtungen gesicherte Erscheinung. Eine zahlenmäßige Untersuchung hat auch hier Herr Berson a. a. O. gegeben, wo er aus 60 Ballonfahrten eine Kurve ableitet und eingehend diskutiert, welche die mittlere Änderung der Windrichtung mit der Höhe darstellt. Die ausschließliche Benutzung von Ballonfahrten bei dieser Untersuchung bringt jedoch, wie Herr Berson selbst ausführt, mehrere Mängel mit sich. Denn einmal sind die Angaben für die untersten Luftschichten, in denen diese Änderung gerade am stärksten auftritt, stets sehr unzuverlässig, da der Ballon diese untersten Schichten meist mit großer Geschwindigkeit durchschießt, sodaß nur selten Zeit zu genauen Richtungsbestimmungen bleibt, und andererseits wird durch die translatorische Bewegung des Ballons selber das Resultat stark beeinträchtigt, da sich seine Angaben nicht mehr auf die über dem Ausgangspunkte liegende Luftsäule beziehen. Aus diesen Gründen mußten die Ergebnisse der Drachenaufstiege an festen Stationen, wenigstens für die unteren Luftschichten, ein weit zuverlässigeres Material zur Untersuchung dieser Erscheinung bilden. Eine solche Untersuchung auf Grund von Drachenaufstiegen, die am Aeronautischen Observatorium zu Tegel ausgeführt wurden, ist von Herrn Berson erst vor kurzem unternommen und ihr Resultat der Aeronautischen Kommission zu Petersburg vorgelegt worden, sodaß nach ihrer Veröffentlichung auch ein Urteil möglich sein wird, inwieweit die in der vorliegenden Arbeit gewonnenen Ergebnisse einer Verallgemeinerung für das ganze Jahr fähig sind.

Bevor wir auf die Ergebnisse der an den beiden Stationen Hald und Berlin gewonnenen simultanen Messungen eingehen, müssen wir auch hier kurz auseinandersetzen, auf welche Weise dieselben ausgeführt wurden. In Hald wie in Berlin wurde die in der Höhe herrschende Windrichtung aus dem Azimut der Drachen bestimmt. Während aber in Berlin das Azimut in allen schätzungsweise den Höhenstufen entsprechenden Zeitpunkten in Graden gemessen, und nur für die „provisorischen Auswertungen“ auf die Richtungen der Windrose abgerundet wurde, sind in Hald überhaupt nur letztere angegeben, und auch diese so selten, daß sich insgesamt nur 59 Beobachtungen vorfinden, die eine Vergleichung der oben herrschenden Windrichtung mit derjenigen am Erdboden zulassen. Diese 59 Beobachtungen entsprechen wiederum nur 31 Beobachtungstagen, sodaß auch hier das Resultat der folgenden Untersuchung, soweit es Hald betrifft, als sehr unsicher erscheinen muß. Bei der Mittelbildung wurde analog dem früheren so verfahren, daß für Hald immer eine Gruppe von Beobachtungen zu einem Mittel zusammengefaßt wurde, welches näherungsweise für die betreffende Höhenstufe gilt, während für Berlin die in den provisorischen Auswertungen unmittelbar für die Höhenstufen gegebenen Windrichtungen verwendet wurden. Es wurde jedoch für Hald sowohl wie für Berlin nicht mit den Windrichtungen selbst, sondern gleich mit ihrer Abweichung gegen die am Erdboden herrschende Richtung gerechnet.

Auf diese Weise ergaben sich folgende mittlere Änderungen der Windrichtung:

Berlin	Seehöhe	200	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
	Änderung d. Windrichtung in Graden	14	23	28	32	34	38	38	38
	Zahl der Beobachtungen	238	235	225	159	93	45	20	11

Hald	Seehöhe	200	500	1000	1500	2000	2500	3000
	Änderung d. Windrichtung in Graden	29	35	25	32	34	0	
	Zahl der Beobachtungen	7	16	19	9	4	4	

Die Zahlen dieser Tabelle geben stets den Winkel zwischen den in der Höhe und am Erdboden herrschenden Windrichtungen.

Der Sinn dieser Abweichung ist stets derselbe; wendet man dem am Erdboden herrschenden Winde das Gesicht zu, so kommt der Wind in der Höhe mehr von rechts. Der Gang der Zahlen wird durch das Diagramm Fig. 7 im Anhang veranschaulicht.

Während die Kurve für Berlin bis zu 2500 m außerordentlich stetig verläuft, und sich erst oberhalb dieser Höhe die zu geringe Zahl von Beobachtungen geltend macht, ist der Verlauf in Hald sehr viel unstetiger, und selbst wenn man die Angabe für 2500 m ausschließt, welche hier ganz aus der Reihe der übrigen herausfällt, so zeigen sich noch sehr erhebliche Schwankungen. Für beide Stationen ist aber die Änderung in den dem Erdboden benachbarten Schichten weitaus am größten. Bereits bei 1000 m ist in beiden Fällen eine Drehung von rund 30° erreicht, und oberhalb dieser Höhe erfolgt nur noch eine erheblich langsamere Weiterdrehung. Im einzelnen weisen aber die beiden Kurven nicht unerhebliche Abweichungen auf, welche wir in folgende 2 Sätze zusammenfassen können:

a) In der untersten Luftschicht erreicht die Drehung in Hald einen erheblich größeren Betrag als in Berlin.

In 200 m Höhe ist die Drehung in Hald um 15° größer als in Berlin, und in 500 um 12°.

In Hald ist bereits bei 200 m Höhe eine Drehung von 29° erreicht, welche in den folgenden Höhenlagen überhaupt nicht mehr wesentlich überschritten wird, sodaß sich an dieser Station die ganze Erscheinung beinahe vollständig auf die untersten 200 m beschränkt. Die entsprechende Drehung wird in Berlin erst bei 1000 m erreicht, während bei 200 m nur die Hälfte der in Hald herrschenden Drehung gefunden wurde. Man kann diesen Unterschied zwischen beiden Stationen auch so aussprechen, daß in Hald bereits relativ niedrige Luftschichten diejenige Windrichtung aufweisen, welche in Berlin erst in größerer Höhe gefunden wird. Man wird nicht anstehen, dies Resultat mit dem im vorigen Abschnitt gefundenen für vereinbar zu halten, nach welchem die Verzögerung der untersten Luftschichten in Hald infolge der geringeren Reibung der Luft an der Erdoberfläche erheblich geringer ist, als in Berlin. Da es keinem Zweifel unterliegt, daß eine Verzögerung der untersten Luftschicht wegen der dadurch bewirkten Verringerung der Zentrifugalkraft bei gleichbleibender Gradientkraft auch auf die Bewegungsrichtung einen Einfluß ausüben muß, so war in der Tat zu erwarten, daß in Hald, wo der Reibung an der Erdoberfläche offenbar eine weit geringere Rolle zufällt als in Berlin, sich auch die dadurch hervorgerufene Änderung der Windrichtung auf eine geringere Höhe beschränkte als am Berliner Observatorium.

b) In der Luftschicht zwischen 500 und 1000 m nimmt die Drehung in Hald einen entgegengesetzten Sinn an. Es erfolgt in dieser Höhenschicht ein Zurückdrehen der Windrichtung um insgesamt 10°, sodaß bei 500 m ein Maximum der Drehung resultiert. Es wurde bereits im vorigen Abschnitt darauf hingewiesen, daß diese Höhenschicht sich auch in bezug auf die Windgeschwindigkeit in Hald abweichend von dem allgemeinen Verlauf und auch von dem in Berlin beobachteten verhielt, und es muß auch hier dahingestellt bleiben, wieweit die Ursache dieser Abweichung in der Unvollkommenheit der jütländischen Beobachtungen zu suchen ist.

Relative Feuchtigkeit.

Eine eingehendere systematische Untersuchung über den Wasserdampfgehalt, bezw. die relative Feuchtigkeit in größeren Höhen über dem Erdboden, und zwar in der freien Atmosphäre, — auch die Bergstationen hatten ja schon einen Beitrag zu der Frage geliefert, — konnte zum erstenmal auf Grund reichhaltigeren Beobachtungsmaterials durch Herrn Süring in „Wiss. Luftf." angestellt werden. Obwohl es nicht ohne Interesse gewesen wäre, eine entsprechende Untersuchung auf Grund des vorliegenden Beobachtungsmaterials von Berlin und Hald anzustellen, mußte hiervon aus dem Grunde Abstand genommen werden, weil die diesbezüglichen Beobachtungen in Hald mit allzu großen Unsicherheiten behaftet erscheinen. Regelmäßige Angaben über die relative Feuchtigkeit der Luft sind erst vom Monat Januar ab gegeben, sowie zeitweise vorher von Anfang Oktober bis Ende Dezember.

In der Zeit vom Juli bis Anfang Oktober jedoch findet man, abgesehen vom 24. September, gar keine zahlenmäßigen Angaben, sondern hier ist der Grad der relativen Feuchtigkeit durch Ausdrücke wie: sècheresse, grande sècheresse, humidité varie peu u. a. m. bezeichnet.

Mit solchen Angaben aber, die doch nur eine rohe Schätzung darstellen, lassen sich keine Werte bilden, die einiges Vertrauen beanspruchen dürfen, und da zugleich gerade bei Untersuchungen über relative Feuchtigkeit sich außerordentliche instrumentelle Schwierigkeiten einstellen, so mußte eine doppelte Vorsicht in bezug auf Schlußfolgerungen geboten erscheinen.

Aus diesem Grunde wurde lediglich der Versuch gemacht, die Häufigkeit der allertrockensten Luftschichten an beiden Stationen zu vergleichen. Es wurden zu diesem Zweck alle diejenigen Fälle zusammengestellt, in denen in irgend einer Höhe über dem Erdboden die relative Feuchtigkeit unterhalb der Empfindlichkeitsschwelle der Instrumente lag (= 0%), und weiter diejenigen, in denen sie weniger als 15% betrug. Zu den ersteren wurden auch diejenigen Fälle gezählt, in denen man in Hald „grand sècheresse" notierte, während zu den letzteren die durch „sècheresse" bezeichneten gerechnet wurden.

Mit dieser Bestimmung, die freilich von einer gewissen Willkür nicht ganz frei sein kann, ergibt sich, daß 0% relative Feuchtigkeit

in Berlin 19 mal
in Hald 9 mal

konstatiert wurde, also in Hald rund halb so oft wie in Berlin. Eine relative Feuchtigkeit, die kleiner als 15% ist, wurde

in Berlin 31 mal
in Hald 20 mal

notiert, also in Hald rund nur $^2/_3$ mal so oft wie in Berlin.

Diese Zahlen scheinen darauf hinzudeuten, daß die Fälle von sehr großer Trockenheit der oberen Luftschichten in Berlin erheblich häufiger sind als in Hald.

Aus dem oben angegebenen Grunde muß diese Beziehung indessen noch als unsicher erscheinen, zumal da ja die Feuchtigkeitsmessungen bei Drachenaufstiegen wegen des häufig sich niederschlagenden Rauhreifes oder Wassers besonders bei lange dauernden Aufstiegen nicht immer als zuverlässig gelten können.

Temperatur.

In betreff der Temperatur-Ergebnisse, die an den beiden Stationen gewonnen wurden, lag es nahe, die von Herrn Aßmann in der monatlichen Beilage zum „Wetter": „Die Temperatur der Luft über Berlin"[1]) eingeführte Darstellung zu verwenden, nach welcher die Tempe-

[1]) Verlag von Otto Salle, Berlin 1904.

raturen aller Höhenschichten Tag für Tag übersichtlich zur Darstellung gebracht und mit einander verbunden werden. Allein eine solche Darstellung und noch mehr ihre Diskussion, welche doch stets auf Grund der jeweiligen Wetterlage geführt werden müßte, würde den Rahmen der vorliegenden Untersuchung weit überschreiten. Um aber wenigstens für eine einzige herausgegriffene Höhe die Temperaturen der beiden Stationen einer Vergleichung zu unterwerfen, sind im folgenden die Monatsmittel der Temperatur in 1000 m Höhe zusammengestellt.[1])

Temperaturen in 100 m Höhe.

	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai
Hald	7.2	6.8	7.5	2.1	0,1	— 1.4	— 1.7	— 2.1	— 0.3	— 0.4	5.7
Berlin	7.6	9.0	7.6	3.2	— 0.1	— 3.7	— 0.9	— 0.1	— 1.0	- 0.7	7.5

Man sieht, daß für das mehr kontinental gelegene Berlin die Schwankungen auch in 1000 m Höhe noch merklich größer sind als in Hald.

Die niedrigste Temperatur hatte in Berlin der Dezember mit —3.7°, in Hald der Februar mit —2.1°, die höchste Temperatur hatte in Berlin der Monat August mit +9.0°, in Hald der September mit +7.5°. Die Monatsmittel schwanken also in Hald um 9.6°, in Berlin dagegen um 12.7°. Allerdings ist auch hier wieder zu beachten, daß der Monat Juni ganz fehlt, und auch vom Mai und Juli nur sehr unvollständige Beobachtungen vorliegen, wodurch möglicherweise die Lage des sommerlichen Temperaturmaximums beeinflußt wird. Des weiteren ersieht man unmittelbar aus der graphischen Darstellung im Anhang, Fig. 8, daß für Hald auch die Änderung der Temperaturmittel von Monat zu Monat erheblich stetiger verläuft als für Berlin. Offenbar spiegelt sich hierin sowohl wie in dem ersterwähnten Unterschied der Extreme der klimatische Gegensatz der beiden Stationen wieder. Wir kommen daher zu dem Schluß, daß noch in 1000 m Höhe in dem Verlauf der Temperaturen der Klima-Unterschied merklich zum Ausdruck kommt, indem für die ein ausgesprochenes Seeklima aufweisende Station Hald nicht nur die Temperatur-Schwankung zwischen Sommer und Winter geringer ist, sondern auch die Änderung selber viel gleichmäßiger und stetiger verläuft als in dem mehr kontinentalen Berlin, wo der Verlauf der Temperaturen in jeder Hinsicht noch demjenigen am Erdboden ähnlicher ist.

Die zentrierte Zyklone vom 16. Oktober 1902.

Nachdem im vorhergehenden die allgemeinen meteorologischen Verhältnisse der Stationen Berlin und Hald auf dem Wege statistischer Mittelbildung verglichen worden sind, soll im folgenden der Versuch gemacht werden, die Beobachtungen der beiden Stationen zur Untersuchung eines speziellen Falles zu verwenden.

Unter den Depressionen, welche die jütländische Station im Laufe der Beobachtungszeit passiert haben, befindet sich eine jener mit nahezu kreisförmigen Isobaren auftretenden Zyklonen, welche man als „zentriert“ bezeichnet hat, und deren Bedingungsgleichung von Herrn von Bezold in den Sitzungsberichten der Berliner Akademie der Wissenschaften (1890) niedergelegt worden sind. Es ist dies die Zyklone vom 16. Okt. 1902, deren Kern morgens 8^h über der Nordsee lag, und in deren SE-Rand über Jütland sowohl wie über Berlin relativ hohe Aufstiege von 2800, bezw. 1600 m Höhe gelangen; nachdem Herr von Bezold in

[1]) Für Hald mußten die täglichen Temperaturen für 1000 m meist inter- bezw. extrapoliert werden. — Die Monatsmittel für Berlin sind vom Verfasser bereits früher zu andern Zwecken zusammengestellt worden (siehe Met. Zeitschrift, Juniheft 1904, Berichtigungen im Augustheft).

der genannten Abhandlung gezeigt hatte, daß ein Herausfließen der Luft aus einer „überzentrierten" Depression infolge Anwachsens der Zentrifugalkraft auch gegen den Gradienten möglich sei, und daß dies in solchen Höhen, in welchen die Reibungswirkung der Erdoberfläche fortfalle, unter bestimmten Voraussetzungen eintreten müsse, lag es nahe, die ermittelten Formeln versuchsweise auf das konkrete Beispiel des 16. Okt. 1902 anzuwenden.

Die Bedingungsgleichung einer zentrierten Zyklone lautet nach jener Arbeit:

$$p_c + p_i - \gamma = 0$$

wo p_c die Zentrifugalkraft, p_i die ablenkende Kraft der Erdrotation und γ die Gradientenkraft ist, oder in Worten: die Summe der radialen Kraftkomponenten (welche die Luft aus der kreisförmigen Bahn herauszudrängen suchen), muß gleich 0 sein. Nun ist

$$p_c = \frac{v^2}{r}, \; p_i = \frac{4\pi}{\tau} v \sin \varphi$$

wobei v die Geschwindigkeit der Luft, r der Radius der Zyklone, τ die Länge eines Sterntages in mittleren Sekunden und φ die Breite ist;

$$p_i \text{ ist mithin } = 0.0001459 \cdot v \cdot \sin \varphi$$

$$\text{ferner ist } \gamma = \frac{G \cdot 13.6 \cdot g}{111111 \cdot \rho} = 0.00012237 \frac{G \cdot g}{\rho}$$

wobei G = dem Gradienten, d. h. dem barometrischen Gefälle auf dem Radius der Depression pro Meridiangrad (111111 m), g die Beschleunigung, und ρ die Luftdichte ist, sodaß man als Bedingungsgleichung einer zentrierten Zyklone erhält:

$$0.00012237 \cdot \frac{G \cdot g}{\rho} = \frac{v^2}{r} + 0.0001459 \cdot v \cdot \sin \varphi$$

Zur Bestimmung von G braucht man 2 Stationen. Es wurde daher zwischen Berlin und Hald ein mittlerer Ort ($\varphi = 54° 28',5$) konstruiert, auf welchen die Gleichung angewendet wurde. Hierbei wurden folgende Beobachtungen der beiden Stationen zugrunde gelegt:

		Erde	200	500	1000	1500	2000
Hald	Temperatur	9.5	8.9	7.4	4.6	1.0	—2.1
	Luftdruck	735	726	696	658	618	580
Berlin	Temperatur	12.5	11.6	10.4	8.5	4.6	2.4[1])
	Luftdruck	748	735	708	667	627	587[1])

und für den mittleren Ort:

Temperatur	11.0	10.2	8.9	6.5	2.8	0.2
Luftdruck	746.7	730.5	702.0	662.5	622.5	584.5
Windgeschw. (mps.)	5	8	12	15	20	25

Für den Wind wurden diejenigen Geschwindigkeiten gewählt, welche in Berlin nach dem Zug, den die Drachen ausübten, geschätzt worden waren; eine Interpolation zwischen Berlin und Hald war leider nicht möglich, da Hald, wie in der Regel, keine Windgeschwindigkeit gemessen hatte. Die Entfernung des mittleren Ortes vom Zentrum der Depression wurde $r = 7$ Meridiangrade $= 7 \cdot 111111$ m aus der Wetterkarte der Seewarte entnommen. g wurde konstant gesetzt = 9.81, ρ wurde für die verschiedenen Höhen berechnet, und zwar nach der Formel: $\rho = 1.293 \cdot \frac{p}{760} \frac{273}{273 + t}$ Gramm im cbm, unter Vernachlässigung des Wasserdampf-

[1]) Extrapoliert.

gehalts, wobei p den Barometerstand und t die Temperatur darstellt. Für ρ ergab sich so am mittleren Ort:

$$\rho \text{ Erde} = 1.221$$
$$\rho \quad 200 = 1.198$$
$$\rho \quad 500 = 1.156$$
$$\rho \quad 1000 = 1.101$$
$$\rho \quad 1500 = 1.048$$
$$\rho \quad 2000 = 0.994$$

Um nun festzustellen, ob die Zyklone in irgend einer Höhe zentriert sei, setzen wir die für den mittleren Ort gefundenen Werte in die Bedingungsgleichung der zentrierten Zyklone ein. Unbekannt ist dann nur noch G, für das sich aus der Gleichung folgende Werte ergeben:

(Gradient der zentrierten Zyklone)

$$G \text{ Erde} = 0.64$$
$$G \quad 200 = 1.03$$
$$G \quad 500 = 1.53$$
$$G \quad 1000 = 1.90$$
$$G \quad 1500 = 2.52$$
$$G \quad 2000 = 3.12$$

Diese Werte muß G in den verschiedenen Höhen haben, wenn die Zyklone zentriert sein soll; sehen wir nun, wie die Werte von G wirklich (beobachtet) sind. Wenn der Barometerunterschied zwischen Berlin und Hald in irgend einer Höhe $b_B - b_H$ mm ist, so ist dies das barometrische Gefälle zwischen den Isobaren Berlin und Hald; die Entfernung dieser Isobaren von einander, auf dem Radius der Depression gemessen, beträgt 4.4 Meridiangrade, das Gefälle pro Meridiangrad (= 111 111 m) oder der Gradient am mittleren Ort ist also

$$G = \frac{b_B - b_H}{4 \cdot 4} \text{ mm}$$

aus den Beobachtungen folgt:

(Gradient der beobacht. Zyklone)

$$G' \text{ Erde} = 2.50$$
$$G' \quad 200 = 2.04$$
$$G' \quad 500 = 2.73$$
$$G' \quad 1000 = 2.04$$
$$G' \quad 1500 = 2.04$$
$$G' \quad 2000 = 2.04$$

Hat der wirkliche, beobachtete Gradient G′ in irgend einer Höhe den Wert, den er haben müßte, wenn die Zyklone zentriert sein soll (G), so werden dort die Luftmassen auf den Isobaren entlang gleiten; wir sehen, daß dies bei rund 1100 m der Fall ist. In dieser Höhe ist also die Zyklone zentriert. Über dieser Höhe ist der wahre Gradient (G′) zu schwach, um die Luft auf den Isobaren zu halten, es findet also ein Ausströmen gegen den Gradienten statt; unterhalb 1100 m hingegen ist der wahre Gradient (G′) zu stark, oder die Zentrifugalkraft zu gering, um die Zyklone zentriert werden zu lassen: es muß daher ein Einströmen stattfinden.

Diese Erscheinung, welche in der mehrfach genannten Abhandlung als theoretisches Postulat aufgestellt war, und auf deren Vorhandensein schon die an der Erdoberfläche gesammelten Beobachtungen hinwiesen, bestätigt sich also in dem gewählten Beispiele.

Wenn nun auch einer vereinzelten Durchführung dieser Rechnung keine große Bedeutung beigemessen werden kann, so ist es doch vielleicht nicht unnütz, auf die Bedeutung aufmerksam zu machen, welche die Anwendung dieser Formel auf Drachenbeobachtungen für unser Verständnis einer ganzen Reihe von meteorologischen Erscheinungen bekommen

kann. So scheint es nicht ausgeschlossen, daß durch sie, wenigstens im einzelnen Falle, eine Erklärung z. B. von Inversionsschichten möglich sei; auch findet hin und wieder das Ausströmen der Luft aus einer Depression vielleicht eine ungezwungenere Erklärung durch die Zentrifugalkraft als durch die Annahme eines Hochdruckgebietes über der Depression.

Zusammenfassung.

Damit ist die Untersuchung zu dem Abschluß gebracht, welcher angesichts der vorhandenen Schwierigkeiten möglich schien. Zum Schluß seien in kurzen Sätzen die hauptsächlichsten Ergebnisse zusammengefaßt.

1. Inversionen. Auch das vorliegende Zahlenmaterial spricht für eine große horizontale Erstreckung der Inversionen.

Die Inversionen erfuhren Maxima der Häufigkeit auf beiden Stationen: für den Winter, für E Winde und für Windstille; sie wurden über Berlin häufiger gefunden als über Hald, und bei geringeren Windgeschwindigkeiten.

Sie lagen über Berlin allgemein höher als über Hald, und an beiden Orten im Sommer höher als im Winter.

Ihre Intensität war über der festländischen Station größer als über der Viborger, und an beiden im Winter größer als im Sommer.

Das Maximum der Intensität sowohl wie der Häufigkeit war gegen den Herbst zu verschoben.

Die stärksten Umkehrungen traten über Berlin bei SE, über Hald bei E Wind ein.

Die Mächtigkeit der Inversionen war über der maritimen Station größer als über der kontinentalen, und zeigte an beiden eine ausgesprochene jährliche Periode, mit einem Maximum im Winter und einem Minimum im Sommer.

Erdboden-Inversionen waren über dem Tegeler Observatorium häufiger und intensiver als über dem Viborger, und an beiden Orten im Winter stärker als im Sommer.

2. Wind. Die Windgeschwindigkeiten waren in den erreichten Höhen über Hald durchweg größer als über Berlin, die Verzögerung der untersten Luftschicht war an letzterem Orte erheblich größer als an ersterem. Die stärkste Zunahme trat über beiden bis 500 m ein, darüber folgte bei Hald sogar Abnahme.

Die Gesamtzunahme der Windgeschwindigkeit mit wachsender Höhe war in Hald erheblich geringer als in Berlin.

Die Winddrehung erreichte in den untersten Luftschichten über ersterer Station einen erheblich größeren Betrag als über letzterer; in der Luftschicht zwischen 500 und 1000 m nahm die Drehung in Hald einen entgegengesetzten Sinn an.

3. Relative Feuchtigkeit. Die Fälle von großer Trockenheit waren über Berlin häufiger als über Hald.

4. Temperatur. Der Gang der Monatsmittel in 1000 m Höhe war in Hald gleichmäßiger, auch waren die Extreme geringer.

5. Die nahezu kreisförmige Depression vom 16. Okt. 1902 war in 1100 m Höhe zentriert; über dieser Höhe muß ein Ausströmen gegen den Gradienten angenommen werden.

Fig. 1.

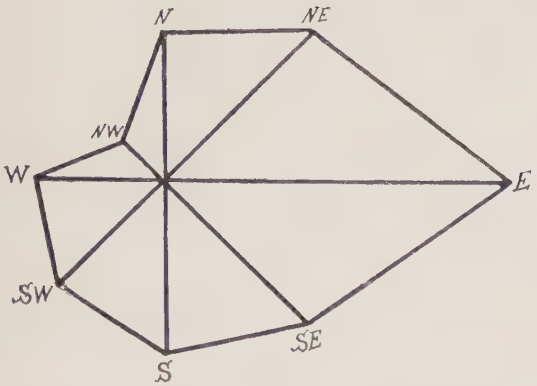
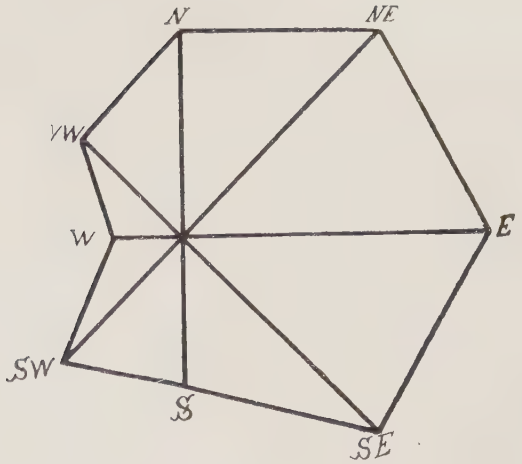
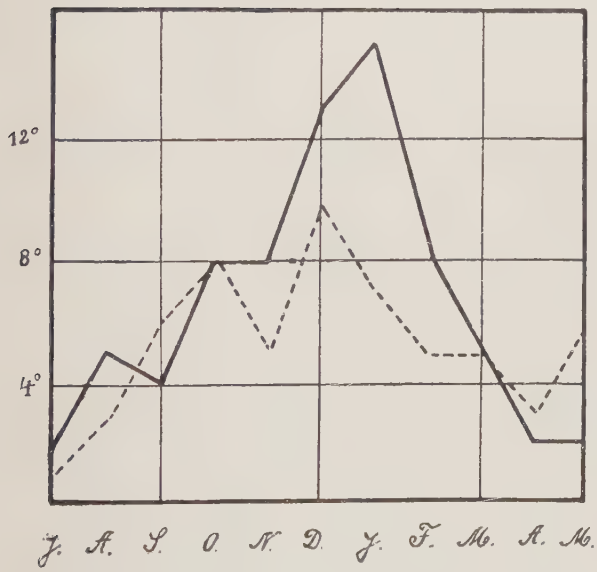


Fig. 2.



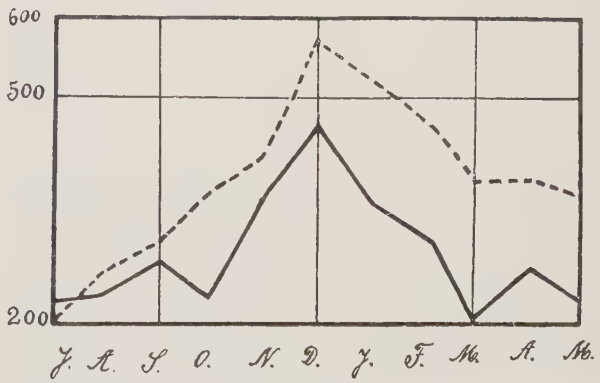
Häufigkeit der Inversionen bei verschiedenen Windrichtungen am Erdboden. Fig. 1 Berlin, Fig. 2 Hald.

Fig. 3.



Gang der Intensität der Inversionen. Berlin 00, Hald 00.

Fig. 4.

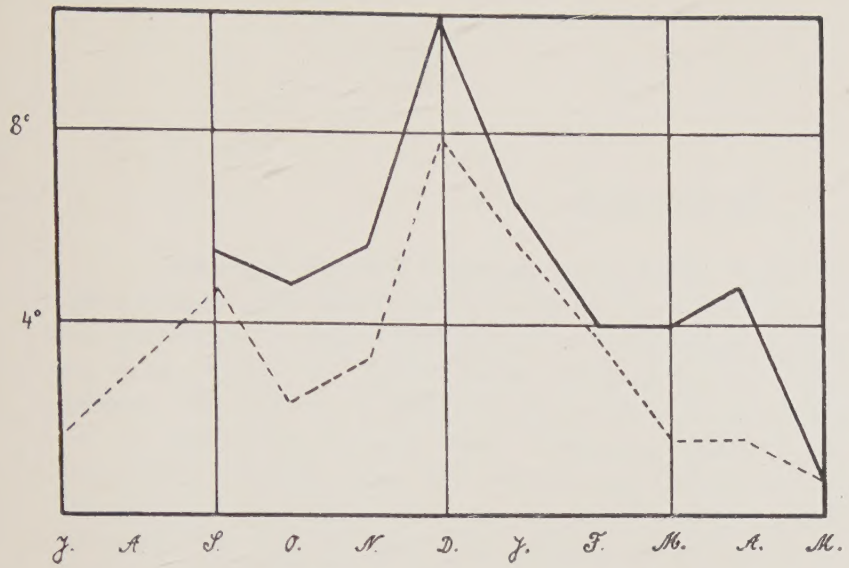


Gang der Mächtigkeit der Inversionen. Berlin 00, Hald 00.

Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre, Bd. I, Heft 3.
Zu Kurt Wegener, Die gleichzeitigen Drachenaufstiege in Berlin und Hald (Jütland) vom Sommer 1902 bis zum Frühjahr 1903.

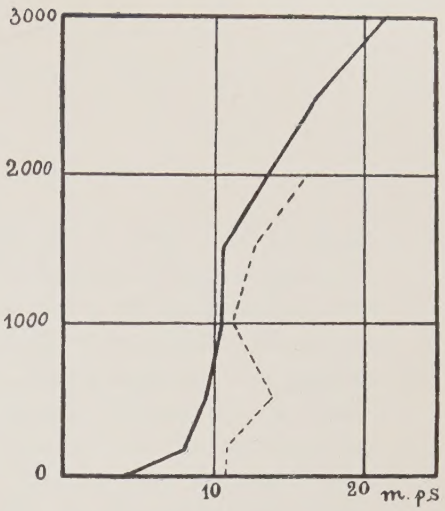
Verlag von Karl J. Trübner in Straßburg.

Fig. 5.



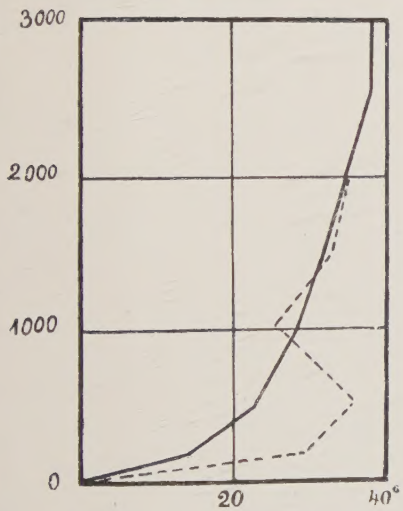
Gang der Intensität der Erdbodeninversionen. Berlin 00, Hald 00.

Fig. 6.



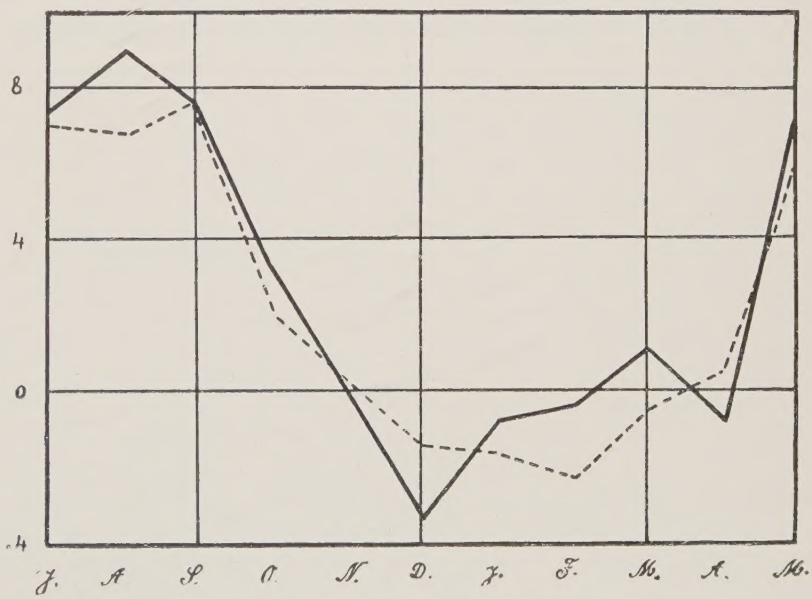
Änderung der Windgeschwindigkeit mit der Höhe Berlin 00, Hald 00.

Fig. 7.



Änderung der Windrichtung mit der Höhe. Berlin 00, Hald 00.

Fig. 8.



Monatsmittel der Temperatur in 1000 m Höhe. Berlin 00, Hald 00.

Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre, Bd. I, Heft 3.
Zu Kurt Wegener, Die gleichzeitigen Drachenaufstiege in Berlin und Hald (Jütland) vom Sommer 1902 bis zum Frühjahr 1903.

Verlag von Karl J. Trübner in Straßburg.

Lebenslauf.

Ich, Kurt Friedrich Wegener, evangelischer Konfession, bin am 3. April 1878 als Sohn des Predigers und Direktors des Schindlerschen Waisenhauses Dr. Richard Wegener geboren. Ich genoß den Unterricht des Köllnischen Gymnasiums zu Berlin, welches ich zu Michaelis 1898 mit dem Zeugnis der Reife verließ, zunächst mit der Absicht, mich dem Schiffbaufache zu widmen. Ich arbeitete 2 Semester an der Kais. Werft in Kiel, und hörte zugleich Vorlesungen an der Universität, besuchte dann 4 Semester hindurch die technische Hochschule in Charlottenburg, trat dann aber zum Studium der Physik, und später speziell der Meteorologie an der Berliner Universität über, an der ich 6 Semester hindurch Vorlesungen besuchte. Von Michaelis 1901 bis Michaelis 1902 genügte ich meiner Dienstpflicht als Einjährig-Freiwilliger beim Königin Elisabeth Garde-Grenadier-Regiment Nr. 3 zu Westend und habe seit Michaelis 1903 die Stelle eines technischen Assistenten am Aeronautischen Observatorium des Kgl. Preuß. Meteorologischen Instituts zu Reinickendorf bei Berlin inne. Meine Promotionsprüfung bestand ich am 23. Februar 1905. Meine Lehrer waren folgende Herren: von Bezold, Blasius, Dilthey, Fischer, Flamm, Förster, Hettner, Kammerer, Lummer, Paulsen, Planck, von Richthofen, Rüdorff, Stumpf, Warburg. Insbesondere bin ich Herrn v. Bezold und Herrn Aßmann für ihre Anregungen und ihr Interesse an meiner Arbeit zu großem Dank verpflichtet.

M. DuMont-Schauberg, Straßburg.